

## Практика радіовимірювань

УДК 621.317.07.089

### РАДИОМЕТРИЧНА ОЦІНКА ЯКОСТІ ДІЕЛЕКТРИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

**Яненко О. П., д.т.н., професор; Куценко В. П., к.т.н., докторант;  
Михайленко С. В., студент**

*Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут», Київ, Україна*

### RADIOMETRIC QUALITY EVALUATION OF DIELECTRIC MATERIALS

**Yanenko O. P., Doc. Of Sci (Technics), Prof.; Kutsenko V. P. Cand. Of Sci (Technics);  
Mikhailenko S. V., student**

*National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine*

#### Вступ. Постановка задачі

Фізичні і біологічні тіла і об'єкти, які мають температурні градієнти відносно навколишнього середовища, відповідно з законами термодинаміки випромінюють в це середовище широкий спектр електромагнітних коливань, інтенсивність яких в діапазоні НВЧ і НЗВЧ визначається формулою Релея-Джинса:

$$P_c = 2\pi\beta \frac{f^2}{c^2} \cdot kT ,$$

де  $f$  — робоча частота,  $c$  — швидкість світла,  $k$  — стала Больцмана .

Спектр електромагнітних сигналів нагрітих тіл, знаходиться, починаючи від радіо і до інфрачервоного діапазону включно, охоплюючи і мм-діапазон, який використовується для мікрохвильової терапії.

Сигнал, що формується в результаті теплових флуктуацій елементарних частинок фізичного і біологічного об'єкту, має шумовий характер, виділяється і вимірюється приладом з кінцевою смугою пропускання, а тому його можна представити у вигляді випадкового вузько смужового процесу:

$$U_c(t) = U(t) \sin[\omega_0 t + \varphi(t)]$$

Амплітуда обвідної  $U(t)$  і фаза  $\varphi(t)$  сигналу є випадковими функціями часу, швидкість зміни яких залежить від ширини смуги частот, що проходять на радіометричну систему (РС) [1].

Об'єкти дослідження випромінюють, поглинають, відбивають і пропускають шумове електромагнітне випромінювання в широкому діапазоні частот. Його інтенсивність в аналізованому діапазоні залежить від складу, температури, стану поверхні. Переважаючим типом електромагнітного випромінювання є радіотеплове, яке пояснюється тепловим рухом носіїв електричного заряду.

Задачею даної експериментальної роботи є проведення досліджень електромагнітних властивостей діелектричних матеріалів спеціального призначення [2]. Зокрема власного електромагнітного випромінювання (ЕМВ) при нагріванні, поглинальної здатності при проходженні зовнішнього сигналу, а також виявлення кореляційних зв'язків між характеристиками і станом матеріалу — типом матеріалу, товщиною, його хімічним складом або густиною, цілісністю тощо.

### **Результати досліджень**

Об'єктами дослідження є діелектричні матеріали — ситалова та цинкова кераміка, які використовуються в різноманітних виробках, як спеціального так і побутового призначення. Зразки з різним складом наповнювачів, технологією запікання, а деякі з тріщинами та розколами. Як вимірювальна апаратура використана радіометрична система мм-діапазону (РС) з чутливістю  $10^{-14}$  Вт, діапазоном частот 37-53 ГГц та смугою аналізу  $10^8$  Гц [3, 4].

### **Оцінка випромінюваної здатності діелектричних матеріалів.**

За допомогою зазначеної високочутливої радіометричної системи в цьому досліді було проведено вимірювання власного електромагнітного випромінювання нагрітих зразків діелектричних матеріалів.

Схема вимірювання представлена на рис.1.

### **Методика вимірювання:**

Температура в нагрівачі (термостаті) постійно підтримувалась на рівні 38 °С. Зразок мінералу розміщувався в нагрівачі і нагрівався протягом 20 хвилин. Приймальна рупорна антена, площею  $S=2.4 \text{ см}^2$ , установлювалась над зразком досліджуваного матеріалу, а вимірювання електромагнітного випромінювання проводилися на частоті 53 ГГц. Після відповідних перетворень в РС

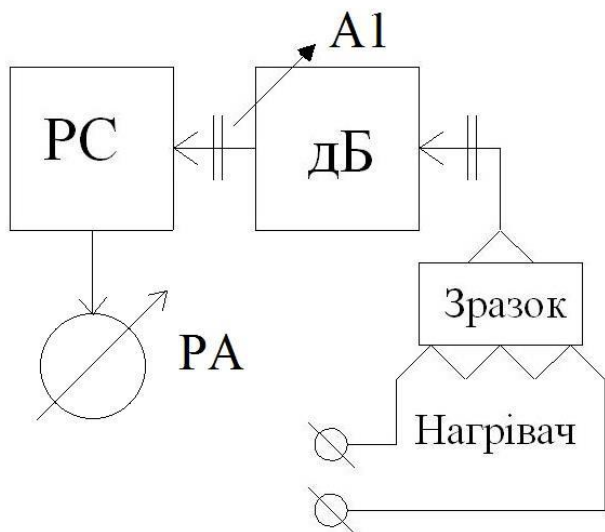


Рис.1. Схема дослідження власного ЕМВ діелектричних матеріалів, РС — радіометрична система; А1 — атенюатор.

прийнятого сигналу індикатор вимірювальної системи РА фіксував потужність випромінювання досліджуваного об'єкта ( $P_c$ ).

Результати вимірювання та розподіл абсолютного значення інтегральної потужності досліджуваних діелектричних матеріалів приведені на гістограмі рис. 2.

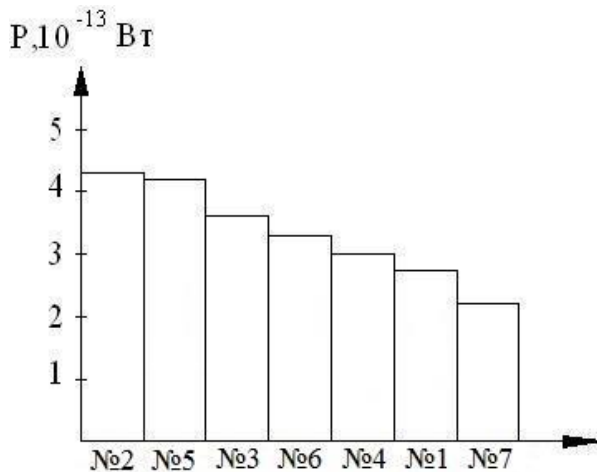


Рис.2. Результати дослідження випромінювання діелектричних матеріалів, ситалова кераміка: №1 ( $h=7$ мм), №2 ( $h=10,5$ мм), №3 ( $h=8,5$ мм); цинкова кераміка: №4 (РН8), №5 (РН9), №6 (РН10), №7.

З рис. 2. видно, що найбільший рівень випромінювання мають матеріали ситалової кераміки із значеннями  $(3,6-4,3)10^{-13}$  Вт, значно менший рівень випромінювання має цинкова кераміка з різним значенням РН шлікера  $(2,2-3,3)10^{-13}$  Вт.

Ситалова кераміка відрізняється за товщиною зразків від 7 до 10,5 мм, що проявилось і в розкиді рівня випромінювання у вказаних межах.

Цинкова кераміка відрізняється щільністю отриманого матеріалу, пов'язаною з процедурою (технологією) підготовки шлікера.

В деяких зразках матеріалів були присутні тріщини і розколи розміром 0.1-1 мм. Вимірювання ЕМВ на цих тріщинах і розколах нічим не відрізнялись від ЕМВ на суцільній поверхні відповідного зразка, що пояснюється низькою роздільною здатністю рупорної антени, яка володіє збиральним (інтегральним) ефектом своєї площі відносно до ЕМВ матеріала.

Отже, з проведеного дослідження діелектричних матеріалів на випромінювану здатність можна зробити підсумок, що ЕМВ досліджуваних матеріалів суттєво відрізняється, але прояви дефектів при цьому не були зафіксовані.

За рівнем електромагнітного випромінювання можна визначити приналежність зразка до того чи іншого типу кераміки та тримати деякі відомості щодо попередньої рецептури підготовки компонентів, наприклад шлікера цинкової кераміки.

### Оцінка поглинальної здатності діелектричних матеріалів.

За допомогою радіометричної апаратури проведені вимірювання поглинальної здатності зовнішнього електромагнітного випромінювання діелектричними матеріалами.

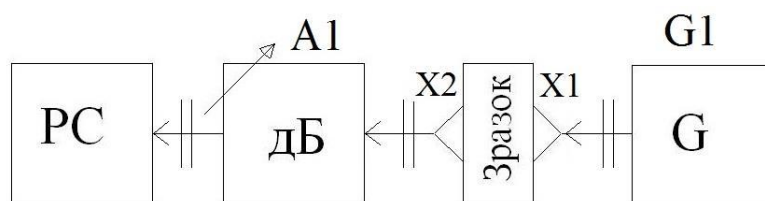


Рис.3. Схема дослідження поглинальної здатності діелектричними матеріалами

Схема вимірювальної установки зображена на рис. 3. Позначення на рисунку:

G1 — генератор мм-діапазону ( $f_r=53$  ГГц), X1 — опромінююча (передавальна) антена, X2 — приймальна антена, A1 — атенюатор, РС — високочутлива вимірювальна система. Схема вимірювання реалізовувала «радарний» режим дослідження.

### Методика вимірювання:

Перед вимірюванням проводилась калібровка системи. Для цього сигнал від генератора подавався безпосередньо на антену РС і встановлювалися атенюатором мінімальні значення показника системи (сигнал придушувався до межі чутливості системи).

Зразок матеріалу опромінювали за допомогою генератора електромагнітного випромінювання з рівнем вихідного сигналу  $10^{-10}$ – $10^{-9}$  Вт. Вимірювання електромагнітного випромінювання проводилися на частоті 53 ГГц.

Спочатку на вимірювальну установку подавали ЕМВ без зразка, за допомогою атенюатора A1 виставляли певне значення на індикаторі вимірювальної установки. В подальшому при вимірюванні кожного зразка, за допомогою атенюатора A1 виставлялися це ж значення на індикаторі. При випромінюванні без зразка на атенюаторі було отримано значення сигналу придушення на 42 дБ. Зразок мінералу розміщувався між антеною генератора X1 та антеною X2

вимірювальної установки РС. Потім вимірювали значення випромінювання, яке проходило через зразок і надходило до вимірювальної установки. За допомогою атенюатора A1 зменшували величину ЕМВ, до вибраного показання індикатора.

Результати вимірювання рівня поглинальної здатності досліджуваних діелектричних матеріалів приведені на гістограмі рис. 4.

Із рис. 4 видно, що ситалова кераміка слабо поглинає мм-сигнали.

Втрати сигналу на зразку товщиною 8 мм складають 2 дБ, а 10 мм — 8 дБ. Для мм-хвиль ситалова кераміка по суті є відносно радіопрозорою. Цинкова кераміка повністю екранує проходження сигналу і тільки в місцях тріщин (0,1 мм зразок № 4) проходження сигналу склало 0,7 дБ, а на розколі (1 мм зразок № 5) — 8,6 дБ, що надає можливість конт-

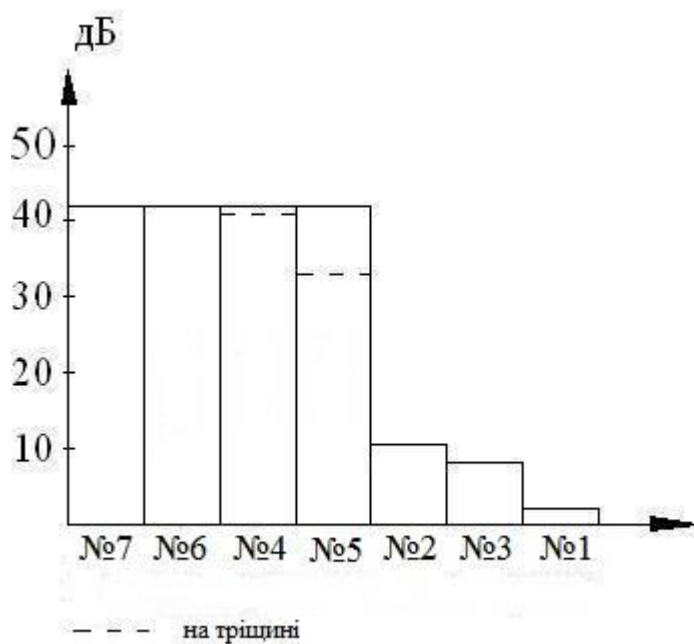


Рис. 4. Розподілення інтенсивності поглинання ЕМВ діелектричними матеріалами

ролю якості виробів із цинкової кераміки із застосуванням радарного методу (на проходження зонduючого сигналу).

Проаналізувавши отримані результати, можна сказати, що поглинальна здатність матеріалів при радарному режимі надає можливість визначити дефекти в матеріалі (тріщини, розколи тощо).

### **Висновки**

1. За методом вимірювання власного випромінювання діелектричного матеріалу можна визначити приналежність зразків до того чи іншого орієнтованого типу матеріалу, а також деякі параметри технології його виготовлення.

2. Метод вимірювання поглинальної здатності матеріалу в радарному режимі надає можливість визначити товщину, радіопрозорість, а також дефекти матеріалу (розколи, тріщини тощо).

3. З отриманих даних стає зрозуміло, що розглянутими методами можна проводити неруйнівний контроль якості діелектричних матеріалів, або виробів спеціального призначення, виготовлених з цих матеріалів.

### **Література**

1. Методы и средства сверхвысокочастотной радиометрии / [Куценко В. П., Скрипник Ю. А., Трегубов Н. Ф., Шевченко К. Л., Яненко А. Ф.] — Донецьк: ППШ «Наука і освіта», 2011. — 324 с.
2. Радиометричний НВЧ-контроль властивостей матеріалів / [Куценко В. П., Скрипник Ю. О., Трегубов М. Ф., Шевченко К. Л., Яненко О. П.] — Донецьк: ППШ «Наука і освіта», 2012. — 348 с.
3. Микроволновая радиометрия физических и биологических объектов / [Скрипник Ю. А., Яненко А. Ф., Манойлов В. П., и др.] — Житомир: изд. Волянь 2003 — 408 с.
4. Golovchanska A. D. Radiometr of microwave range in medical-biological and other aplianes / A. D. Golovchanska, S. N. Peregudov, V. P. Kutsenko // Материалы 21-ой международной Крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии». Севастополь — 2011. — Т2. — С. 1015—1016.

### **References**

- 1.Kutsenko V. P., Skripnik J. A., Tregubov N. F., Shevchenko K. L., Yanenko A. F. Methods and means of microwave radiometry. Donetsk: IPSHI "Nauka i Osvita", 2011, 324p.
- 2.Kutsenko V. P., Skrypnyk J. O., Tregubov M. F., Shevchenko K. L., Yanenko A. P. Radiometrychnyy microwave control material properties. Donets'k: IAI "Science and Education", 2012, 348 p.
- 3.Skrypnyk J. A., Yanenko A. F., Manoylov V. P., Microwave radiometry and other physical and biological objects. Zhitomir: vol. Volyn, 2003, 4 08 p.
4. Golovchanska A. D., Peregudov S. N., Kutsenko V. P. Radiometr of microwave range in medi-cal-biological and other aplianes. Proceedings of the 21st International Crimean Conference "Microwave & TV Communication Technologies." Sevastopol, 2011, vol.2, pp. 1015-1016.

Яненко О. П., Михайленко С. В., Куценко В. П. **Радіометрична оцінка якості діелектричних матеріалів.** При конструюванні продукції спеціального призначення виникає необхідність на отримання інформації неруйнівними методами про стан та якість виробів, в тому числі типу матеріалу, товщини, цілісності, наявності дефектів тощо. Контроль цих характеристик без втручання в матеріал, можна зробити за допомогою вимірювання електромагнітного випромінювання (ЕМВ). ЕМВ має властивості проходити через діелектричні матеріали, а також і випромінюватися самими матеріалами при їх нагріванні. Авторами були проведені досліді на випромінювану і поглинальну здатність ЕМВ діелектричними матеріалами. Отримані результати показали, що ефективним методом для дослідження діелектричного матеріалу на густину, цілісність, товщину та дефектів є метод поглинальної здатності.

**Ключові слова:** електромагнітне випромінювання, діелектричний матеріал, вимірювальна установка, поглинання, випромінювання.

Яненко А. Ф., Михайленко С. В., Куценко В. П. **Радиометрическая оценка качества диэлектрических материалов.** При конструировании продукции специального назначения возникает необходимость на получение информации неразрушающими методами о состоянии и качестве изделий, в том числе типа материала, толщины, целостности, наличии дефектов и т.д.. Контроль этих характеристик без вмешательства в материал, можно сделать с помощью измерения электромагнитного излучения (ЭМИ). ЭМИ имеет свойства проходить через диэлектрические материалы, а также и излучаться материалами при их нагревании. Авторами были проведены опыты на излучаемую и поглотительную способность ЭМИ диэлектрическими материалами. Полученные результаты показали, что эффективным методом для исследования диэлектрического материала на плотность, целостность, толщину и дефектов является метод поглощающей способности.

**Ключевые слова:** электромагнитное излучение, диэлектрический материал, измерительная установка, поглощения, излучения.

Yanenko O. P., Mikhailenko S. V., Kutsenko V. P. **Radiometric quality evaluation of dielectric materials.**

Introduction. The problem statement. It is necessary to investigate the chemical composition, density and integrity of the product designing products of special purpose. The control of these characteristics without the intervention of the material can be carried out using electromagnetic radiation (EMR). EMR can pass through the dielectric materials and also can be radiated by materials with their heating. The experiments on radiation and absorption EMR capacity of dielectric materials were conducted by authors.

Studies. The absorbance method is effective method for the study of dielectric material on the density and integrity. The lower density of the material and the more it damages (cracks, splits), so much worse delay EMR in material. EMR pass through all the solid material, without damage, according to a minority. The radiated ability method determines the chemical composition of the material. The level of radiation is measured using the measurement setup and heating the material. It is found from the results that ceramics pottery better radiates and worse delays EMR, and zinc ceramics, however, worse radiates and better delays EMR.

**Keywords:** electromagnetic radiation, dielectric material, measurement setup, the absorption, the radiation.